

## 九州工業大学学術機関リポジトリ



Title	YAGレーザーによるTi-6Al-4V合金への表面改質
Author(s)	曾, 鮮
Issue Date	2016-03-25
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/5652">http://hdl.handle.net/10228/5652</a>
Rights	

氏 名	曾 鮮 (中国)
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	工博甲第 4 1 6 号
学位授与の日付	平成 2 8 年 3 月 2 5 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	YAG レーザによる Ti-6Al-4V 合金への表面改質
論文審査委員	主査 准教授 山口 富子
	教 授 恵良 秀則
	〃 秋山 哲也
	〃 橘 武史

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、TiC と TiN の両物質の優位性を兼ね備えた Ti(C, N)に着目し、材料の信頼性及び生産性の向上並びに生産コストの低減などが可能である YAG レーザ表面改質法を用いて、Ti-6Al-4V 合金の表面に厚さが数  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  の Ti(C, N)硬化層の形成について検討した。次に、Ti(C, N)硬化層の形成メカニズム、組織、硬さ及び耐摩耗性について述べた。

本論文は 6 章から構成されている。

第 1 章の「緒論」では、Ti-6Al-4V 合金の適用の現状及び問題点、従来からの表面改質方法及び問題点、レーザ表面改質法の原理、特徴及び現状について整理し、それらを踏まえて本研究の目的について述べている。

第 2 章の「レーザ照射法による Ti-6Al-4V 合金への Ti(C, N)薄膜の形成」では、窒素及びアルゴン混合ガスの雰囲気中で、C を均一に塗布した合金表面に YAG レーザビームを照射し、厚さが 5~20  $\mu\text{m}$  程度の二層で構成される Ti(C, N)被膜の形成に成功した。上層被膜は TiC<sub>0.3</sub>N<sub>0.7</sub> 及び TiN の混在する被膜、下層被膜は N を固溶した  $\alpha$ -Ti 層であることを明らかにしている。適切な条件において、被膜表面の最大の硬さは、母材に比較して 9.3 倍に向上したことを明らかにしている。しかし、薄膜であるため、過酷な摩耗環境での使用には適さないと考えられるため、次章では厚膜の形成について述べている。

第 3 章の「レーザ溶融法による Ti-6Al-4V 合金への Ti(C, N)/TiB 層の形成」では、アルゴンガスの雰囲気中で、Ti 粉末、BN 粉末及び黒鉛の混合粉末を約 200  $\mu\text{m}$  の厚さに塗布した合金表面と混合粉末の両方をレーザビームにより溶融させ、800  $\mu\text{m}$  以上の Ti(C, N) / TiB 硬化層を形成した。その溶融層はデンドライトの TiC<sub>0.3</sub>N<sub>0.7</sub>、微細構造の TiB、 $\alpha$ -Ti 及び  $\beta$ -Ti が混在する組織であることを明らかにしている。適切な実

験条件において、溶融層深さ方向の最大平均硬さは、母材に比較して約 1.5 倍に向上したことを明らかにしている。

厚膜は形成できたが、更なる硬さの向上を目指し、第 4 章の「レーザ溶融法による Ti-6Al-4V 合金への Ti(C, N)層の形成」では、窒素及びアルゴンの混合ガスの雰囲気中で、Ti 粉末と黒鉛の混合粉末を約 400  $\mu\text{m}$  の厚さに塗布した合金表面と混合粉末の両方をレーザビームにより溶融させ、厚さ 800  $\mu\text{m}$  以上の Ti(C, N)硬化層を形成させた。そして、溶融層は主にデンドライトの  $\text{TiC}_{0.3}\text{N}_{0.7}$ 、 $\alpha\text{-Ti}$  及び  $\beta\text{-Ti}$  の混在する組織であることを明らかにしている。適切な条件において、溶融層深さ方向の最大平均硬さは、母材に比較して約 2.4 倍に向上したことを明らかにしている。

第 5 章の「表面改質層の耐摩耗性及び生体適合性の評価」では、各章で得られた表面改質層の耐摩耗性及び摩耗挙動、並びに第 2 章の表面改質層に対しては、その生体適合性についても調査している。ボールオンディスク摩耗試験における摩耗時間が 8 時間の場合の耐摩耗性について比較した結果、第 2、3 及び 4 章で得られた表面改質層は母材に比べ、それぞれ約 37 倍、2 倍及び 17 倍に向上すること、そして、それぞれの摩擦機構を明らかにしている。次に、金属イオン溶出試験によって、第 2 章のレーザ表面改質材は母材よりやや少ない V 溶出量となり、更に、試料表面において骨生成及び骨接合を代表する  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  が検出されず、生体摺動部材としての利用も可能であることを明らかにしている。

第 6 章の「総括」では、本研究で得られた結果を纏めて述べている。

以上述べたように、本研究では、幅広く利用でき、材料の信頼性及び生産性の向上及び生産コストの低減などが可能である YAG レーザ表面改質法を用い、Ti-6Al-4V 合金の表面において数  $\mu\text{m}$  から数百  $\mu\text{m}$  の Ti(C, N)硬化層の開発と硬化層の組織、硬さ、耐摩耗性及び生体適合性について明らかにした。そして、YAG レーザ表面改質法によって、これらの特性に優れた Ti(C, N)膜の開発が可能となった。また、従来の表面改質法によって形成した Ti(C, N)膜に比べて、硬さが高い Ti(C, N)膜の開発を YAG レーザ表面改質法によって達成した。

## 学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文に対して、論文調査員から種々の質問があったが、提出者によって適切な回答がなされ、質問者の理解が得られた。また、公聴会においても、多数の質問がなされたが、いずれも提出者によって回答がなされ、質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。